
PEMISAHAN CESIUM DALAM PEB U_3Si_2/Al DENSITAS 2,96 gU/cm^3 PASCA IRADIASI DENGAN METODE PENGENDAPAN CHLOROPLATINATE

Arif Nugroho, Boybul, Sutri Indaryati, Iis Haryati, Rosika Kriswarini, Aslina Br.Ginting
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN
Kawasan Puspiptek Serpong Gd.20 Tangerang Selatan, Banten 15314
e-mail: arif52@batan.go.id

(Naskah diterima: 13-05-2019, Naskah direvisi: 27-05-2019, Naskah disetujui: 10-06-2019)

ABSTRAK

PEMISAHAN CESIUM DALAM PEB U_3Si_2/Al DENSITAS 2,96 gU/cm^3 PASCA IRADIASI DENGAN METODE PENGENDAPAN CHLOROPLATINATE. *Burn up* bahan bakar merupakan hal sangat penting untuk mengetahui kualitas dan integritas elemen bakar nuklirnya setelah iradiasi. Salah satu parameter penting dalam melakukan perhitungan *burn up* adalah proses pemisahan dan analisis kandungan isotop ^{137}Cs di dalam pelat elemen bakar nuklir (PEB) pasca iradiasi. Pada penelitian ini telah dilakukan pemisahan dan analisis isotop ^{137}Cs yang terkandung di dalam PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi dengan metode pengendapan chloroplatinate. Langkah awal yang harus dilakukan sebelum metode ini digunakan adalah bahwa sampel harus bebas dari unsur-unsur yang akan mengganggu dalam pengendapan, kemudian dilakukan pemisahan dengan cara mengendapkan isotop ^{137}Cs dalam bentuk Cs_2PtCl_6 . Proses pengendapan dilakukan dengan penambahan $CsNO_3$ variasi berat 0,0263; 0,0501; 0,0754; 0,1036 ; 0,2064; 0,3020 dan 0,4017 g yang berguna sebagai bahan *carrier* non aktif. Serbuk $CsNO_3$ *carrier* digunakan untuk menambah jumlah isotop Cs yang terendapkan dalam bentuk Cs_2PtCl_6 dikarenakan $CsNO_3$ mempunyai sifat kimia yang sama dengan isotop ^{137}Cs di dalam larutan uranyl nitrat. Isotop ^{137}Cs terikat dalam endapan Cs_2PtCl_6 dan untuk mengetahui kandungan isotop ^{137}Cs dalam endapan Cs_2PtCl_6 dilakukan pengukuran menggunakan spektrometer- γ . Hasil pemisahan ^{137}Cs menunjukkan bahwa penambahan $CsNO_3$ dengan berat 0,1036 g dapat memungut isotop ^{137}Cs sebesar 0,000328 $g/gPEB$ dari 0,000465 $g/gPEB$ dalam larutan U_3Si_2/Al pasca iradiasi atau dengan *recovery* pemisahan sebesar 70,4753%. Besarnya *recovery* pemisahan dengan metode ini masih lebih kecil bila dibandingkan metode pemisahan ^{137}Cs lainnya, hal ini disebabkan karena langkah proses pemisahan yang digunakan terlalu panjang sehingga menimbulkan banyak kesalahan dalam proses preparasi sampel.

Kata kunci : U_3Si_2/Al , analisis isotop ^{137}Cs , pengendapan Cs_2PtCl_6

ABSTRACT

CESIUM SEPARATION FROM IRRADIATED U_3Si_2/Al OF 2.96 gU/cm^3 BY CHLOROPLATINATE PRECIPITATION METHODE. Fuel burnup is an important parameter for determining the quality and integrity of irradiated nuclear fuel. The most important parameters in the calculation of burnup is the separation process and ^{137}Cs content analysis sampled from the irradiated plate fuel. This research has conducted separation and analysis of the ^{137}Cs contained in irradiated U_3Si_2/Al plate by chloroplatinate precipitation method. This method requires that the sample has to be made free from elements that may interfere with the precipitation process. The separation is done by precipitation of ^{137}Cs isotope in the form of Cs_2PtCl_6 . The precipitation process uses $CsNO_3$ as non-active carrier with varied weight of 0,0263; 0,0501; 0,0754; 0,1036 ; 0,2064; 0,3020 dan 0,4017 g. The $CsNO_3$ carrier is added in order to obtain more ammount of precipitate of Cs in the form of Cs_2PtCl_6 because $CsNO_3$ has similar chemical properties with ^{137}Cs in uranyl nitrate solution. The ^{137}Cs isotope is coprecipitated in Cs_2PtCl_6 , and γ -spectrometry is used in the determination of the content of ^{137}Cs in Cs_2PtCl_6 precipitate. The separation results show that addition of 0,1036 g $CsNO_3$ has recovered 0,000328 g/g-sample of ^{137}Cs from 0,000465 g/g-sample in irradiated U_3Si_2/Al solution, or a recovery of 70,4753%. Recovery value by this method is still lower when compared to other ^{137}Cs seperation methods due to longer steps of separation process, which may cause many errors in the sample preparation process..

Keywords: U_3Si_2/Al , analysis of ^{137}Cs isotopes, precipitation of Cs_2PtCl_6

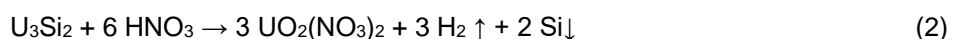
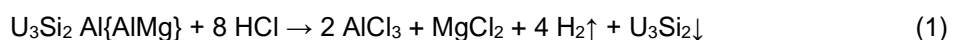
PENDAHULUAN

Bahan bakar nuklir U₃Si₂/Al densitas 2,96 gU/cm³ dengan neutron akan mengalami reaksi pembelahan berantai di dalam teras reaktor. Pelat elemen bakar (PEB) U₃Si₂/Al mengandung isotop ²³⁵U dengan pengkayaan 19,75% dalam melakukan reaksi pembelahan akan menghasilkan energi, sedangkan isotop ²³⁸U akan mengalami reaksi pembiakan. Upaya untuk mengetahui energi total yang dihasilkan dari reaksi pembelahan bahan nuklir tersebut serta laju pembelahan bahan bakar nuklir, maka perlu dilakukan analisis penentuan derajat bakar (*burn up*) baik secara merusak maupun tidak merusak [1,2]. *Burn up* dapat dinyatakan sebagai persentasi atau fraksi atom fisis ²³⁵U dan biasanya dalam satuan energi dinyatakan (MWD= *Megawatt Day*) yang dihasilkan dari proses reaksi fisi. Oleh sebab itu penentuan *burn up* bahan bakar merupakan salah satu kegiatan penting dalam mempelajari unjuk kerja bahan bakar selama di dalam reaktor. Penghitungan nilai *burn up* didasarkan kepada analisis jumlah hasil fisi, uranium sisa dan isotop hasil biak atau unsur-unsur bermassa berat seperti plutonium dan uranium (uranium yang terbakar) di dalam bahan bakar nuklir [3,4,5].

Keselamatan manusia sangat diperhatikan dalam proses pemisahan dan analisa isotop ¹³⁷Cs di dalam PEB U₃Si₂/Al pasca iradiasi. Paparan radiasi gamma yang dipancarkan PEB U₃Si₂/Al pasca iradiasi sangat besar sehingga perlu diantisipasi tanpa mengurangi ketelitian dalam melakukan analisa. Cara yang dilakukan adalah dengan melakukan sampling sampel sesuai dengan target yang diinginkan. Oleh karena itu dibutuhkan sampel yang sangat

kecil untuk memperoleh paparan radiasi yang diperkenankan sesuai ketentuan keselamatan kerja radiasi nuklir sesuai dengan Batas Kondisi Operasi (BKO) [6]. Upaya untuk memperoleh keadaan tersebut salah satu cara yang dilakukan adalah pelarutan PEB U₃Si₂/Al pasca iradiasi dalam jumlah yang sangat kecil (mikrogram) menggunakan jenis pelarut yang sesuai. Pelarutan PEB U₃Si₂/Al pasca iradiasi digunakan larutan HCl 6 M dilanjutkan dengan larutan HNO₃ 6 M menghasilkan larutan uranil nitrat UO₂(NO₃)₂ yang mengandung isotop hasil fisi seperti ¹³⁷Cs maupun isotop ²³⁵U dan ²³⁹Pu sebagai unsur-unsur bermassa berat. Ada beberapa jenis isotop yang dapat dijadikan sebagai monitor *burn up*, salah satunya adalah isotope ¹³⁷Cs [7]. Dalam menentukan *burn up*, hasil fisi ¹³⁷Cs dalam larutan uranil nitrat UO₂(NO₃)₂ tersebut akan dipisahkan dengan isotop lainnya menggunakan metode pengendapan chloroplatinate atau Cs₂PtCl₆.

Pelarutan PEB U₃Si₂/Al menggunakan bahan pelarut kimia dilakukan sebelum isotop ¹³⁷Cs dipisahkan dari PEB. Upaya melarutkan bahan kelongsong AlMg₂ dan matrik Al digunakan pelarut asam klorida, sedangkan untuk melarutkan serbuk bahan bakar U₃Si₂ digunakan pelarut asam nitrat. [8]. Penggunaan pelarut asam klorida dengan konsentrasi 6 M dan asam nitrat 6 M sangat efektif untuk melarutkan uranium pada PEB U₃Si₂/Al karena menghasilkan uranium terpengut sebesar 98,55%. Reaksi pelarutan kelongsong AlMg dengan HCl mengikuti persamaan reaksi (1). Reaksi pelarutan serbuk bahan bakar U₃Si₂ dengan HNO₃ mengikuti persamaan reaksi (2).



Hasil persamaan reaksi diatas diperoleh endapan Si yang berwarna abu-abu,

endapan Si ini sukar larut sehingga harus dipisahkan dari larutan uranil nitrat

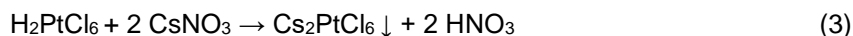
($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$) menggunakan proses penyaringan untuk mendapatkan larutan ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$) yang bening.

Beberapa metode yang telah digunakan oleh kelompok Fisikokimia - IRM-PTBBN untuk melakukan pemisahan hasil fisi ^{137}Cs dengan uranium (^{238}U , ^{235}U , ^{236}U , dan ^{234}U) dalam bahan bakar PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $2,96 \text{ gU/cm}^3$ pasca iradiasi adalah dengan metode pengendapan CsClO_4 [9], pertukaran kation menggunakan zeolite Lampung [10], dan pertukaran kation menggunakan metode resin Dowex [11]. Hasil validasi metode pemisahan cesium menggunakan standar ^{137}Cs dari *Sertificate Reference Material* (SRM) 4233E telah dilakukan dengan menggunakan metode diatas dan telah diperoleh besar *recovery* pemisahan masing-masing metode. Hasil pemisahan standar ^{137}Cs dengan metode pengendapan CsClO_4 diperoleh *recovery* pemisahan isotop ^{137}Cs $98,01\% \pm 1,11\%$ [9] dan dengan metode penukar kation menggunakan zeolite Lampung diperoleh *recovery* pemisahan ^{137}Cs sebesar $99,03\% \pm 0,1\%$ [10] dan besar *recovery* pemisahan ^{137}Cs dengan metode penukar kation menggunakan resin Dowex diperoleh $98,67\% \pm 0,3\%$ [11]. Hasil pemisahan ^{137}Cs dengan metode pengendapan CsClO_4 diperoleh ^{137}Cs dalam bentuk endapan CsClO_4 yang mempunyai kelarutan yang rendah pada 0°C sehingga harus disimpan di dalam temperatur -4°C . Hal ini merupakan suatu kendala karena diperoleh endapan ^{137}Cs yang sedikit basah (tidak kering). Pemisahan ^{137}Cs dengan metode penukar kation menggunakan zeolite diperoleh ^{137}Cs dalam bentuk padatan ^{137}Cs -zeolit, sedangkan dengan metode kolom penukar kation menggunakan resin Dowex diperoleh isotop ^{137}Cs dalam bentuk larutan. Sementara itu, pemisahan ^{137}Cs dengan metode pengendapan Cs_2PtCl_6 telah dilakukan oleh peneliti Hiroshi Okashita dan Haruo Natsuke [12], namun metode tersebut belum pernah digunakan di IRM. Oleh karena itu, untuk menambah metode

pemisahan ^{137}Cs yang terkandung dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $2,96 \text{ gU/cm}^3$ pasca iradiasi, maka dilakukan pemisahan cesium dengan uranium dengan menggunakan metode pengendapan Cs_2PtCl_6 . Hasil pemisahan ^{137}Cs dengan metode pengendapan Cs_2PtCl_6 diperoleh ^{137}Cs dalam bentuk endapan Cs_2PtCl_6 . Endapan ini mempunyai kelarutan yang baik dan lebih stabil sehingga penyimpanannya dapat dilakukan di dalam temperatur ruang.

Okashita dan Natsuke menyatakan bahwa salah satu metode terbaik pemisahan ^{137}Cs adalah pengendapan Cs_2PtCl_6 [12]. Metode ini sangat efektif terutama untuk penggunaan jumlah sampel yang kecil dalam larutan encer karena selektivitasnya. Sampel berupa larutan uranil nitrat ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$) hasil pelarutan terhadap PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ direaksikan dengan *carrier* Fe dan larutan NaOH sampai terbentuk endapan coklat. Endapan coklat banyak mengandung bahan yang mengganggu proses pengendapan. Larutan yang terpisah dengan endapan direaksikan menggunakan asam chloroplatinate dalam kondisi dingin yang berfungsi untuk meningkatkan jumlah Cs_2PtCl_6 yang terbentuk.

Proses pemisahan dengan metode pengendapan melibatkan penambahan serbuk CsNO_3 non aktif sebagai *carrier*. Pemilihan serbuk CsNO_3 berdasarkan kemiripan sifat kimianya dengan isotop ^{137}Cs di dalam larutan uranil nitrat. Serbuk CsNO_3 non aktif ditambahkan ke dalam sampel berfungsi untuk meningkatkan kandungan cesium di dalam larutan sehingga akan mempermudah proses pengendapan. Pada penelitian ini dilakukan variasi penambahan CsNO_3 untuk mengetahui jumlah CsNO_3 yang optimum untuk mendapatkan *recovery* sehingga diketahui kandungan isotop ^{137}Cs yang terikat di dalam endapan Cs_2PtCl_6 . Dari pustaka [12] diketahui bahwa asam chloroplatinate sangat selektif mengikat isotop cesium sehingga menghasilkan endapan Cs_2PtCl_6 seperti yang terlihat pada persamaan reaksi (3).



Upaya untuk mengetahui kandungan isotop ^{137}Cs yang terikat di dalam endapan Cs_2PtCl_6 , kemudian dilakukan pengukuran isotop ^{137}Cs dengan menggunakan spektrometer- γ .

METODOLOGI

PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas 2,96 gU/cm³ pasca iradiasi dengan kode RI-SIE2, alur pelat sisi ke 20 IDA0045 dipotong dengan berat 0,036 g, kemudian dilarutkan dengan larutan HCl 6 N dan HNO_3 6 N sehingga diperoleh larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ sebanyak 25 mL di dalam *hotcell*. Larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ dipipet sebanyak 1 mL dengan paparan radiasi sekitar 87,6 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ ditransfer dari *hotcell* ke R.135. Larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ sebanyak 1 mL tersebut kemudian diencerkan menjadi 10 mL di dalam globe box R.135. Larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ dipipet sebanyak 150 μL dan dimasukkan ke dalam botol gelas ukuran 10 mL. . Sebelum dilakukan pemisahan menggunakan metode chloroplatinate, terlebih dahulusampel langsung diukur dengan spektrometer- γ untuk mengetahui kandungan ^{137}Cs sebelum dilakukan pemisahan, setelah dilakukan pengukuran sampel digunakan untuk proses pemisahan dan analisis ^{137}Cs dengan menggunakan metode pengendapan Cs_2PtCl_6 . Larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ dipipet sebanyak 150 μL dimasukkan ke dalam gelas beaker kemudian ditambahkan serbuk CsNO_3 dengan variasi berat 0,0263; 0,0501; 0,0754; 0,1036 ; 0,2064; 0,3020 dan 0,4017 g dan 20 mL aquadest sambil diaduk sampai homogen . Ke dalam beaker gelas masing-masing ditambahkan 2 tetes larutan *carrier* Fe dan larutan NaOH setetes demi setetes sampai terbentuk endapan kecoklatan. Larutan dan endapan kecoklatan dipanaskan hingga mendidih, hal ini bertujuan untuk mengentalkan endapan. Larutan kemudian didinginkan di udara selama 5 menit dan endapan coklat dipisahkan dari larutan (supernatan)

menggunakan *centrifuge* selama 20 menit ke dalam supernatan ditambahkan 3 tetes larutan indikator metil merah dan HCl tetes demi tetes sambil diaduk sampai warna merah terbentuk, kemudian ditambahkan 2 mL larutan asam khloroplatinik dan 10 mL ethanol sambil diaduk kemudian dinginkan dalam *ice-bath* selama 10 menit hingga terbentuk endapan Cs_2PtCl_6 sebagai fasa padat dan supernatan sebagai fasa cair. Endapan Cs_2PtCl_6 dipisahkan dari supernatan dengan memipet supernatan secara perlahan-lahan. Kandungan ^{137}Cs dalam endapan Cs_2PtCl_6 maupun supernatan kemudian diukur menggunakan alat spektrometer- γ dengan waktu cacah selama 1500 detik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kandungan ^{137}Cs di dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi (sebelum pemisahan) ditunjukkan pada Gambar 1. Dari hasil evaluasi spektrum ^{137}Cs pada Gambar 1, diperoleh kandungan ^{137}Cs di dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi (sebelum pemisahan) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

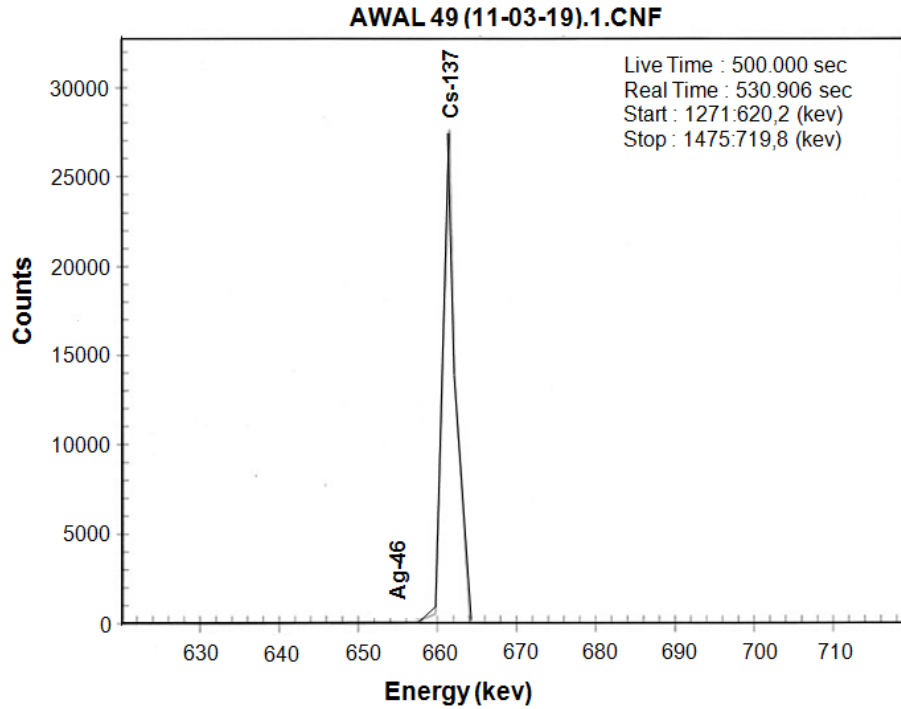
Tabel 1. Kandungan ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ sebelum pemisahan.

No.	Kandungan isotop ^{137}Cs (cps)	Kandungan isotop ^{137}Cs (g/g PEB)
1	175,7733	0,000465
2.	175,0187	0,000460
3	186,4360	0,000494
4	187,1920	0,000495
5	176,8873	0,000324
6.	176,3787	0,000466
7	180,9207	0,000480
Rerata	179,8010	0,000455

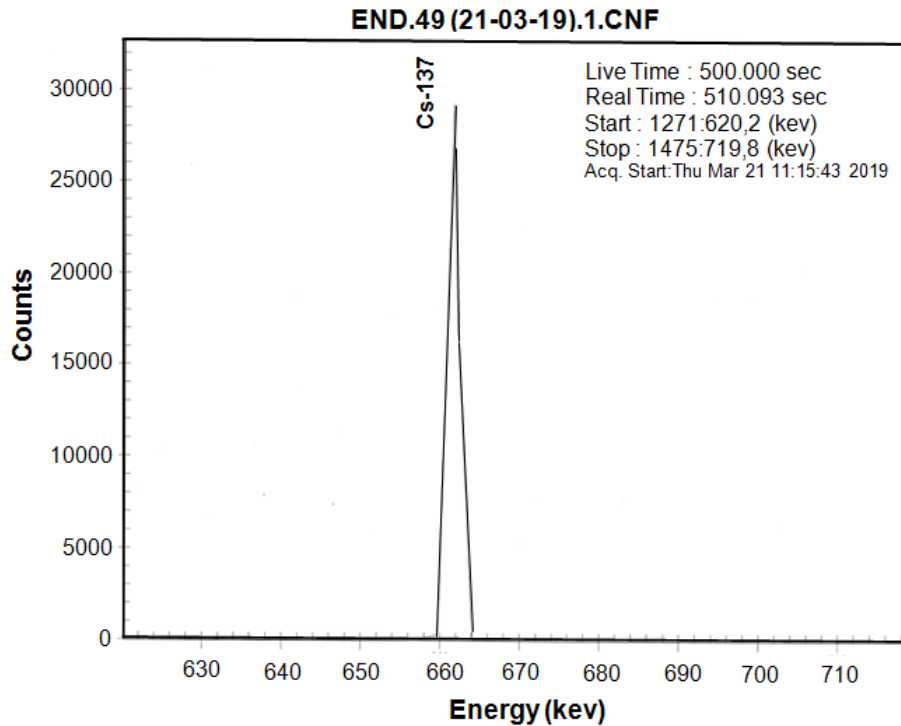
Tabel 1 menunjukkan bahwa kandungan isotop ^{137}Cs di dalam 150 μL larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ (tanpa pemisahan) diperoleh rerata sebesar 179,8010 cps atau setara dengan 0,000455 g/g PEB. Setelah

dilakukan pemisahan ^{137}Cs menggunakan metode pengendapan Cs_2PtCl_6 dengan penambahan variasi berat serbuk CsNO_3 mulai dari 0,0263; 0,0501; 0,0754; 0,1036 ;

0,2064; 0,3020; dan 0,4017 gram diperoleh kandungan ^{137}Cs yang mengendap menjadi endapan Cs_2PtCl_6 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Spektrum ^{137}Cs di dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi (sebelum pemisahan)



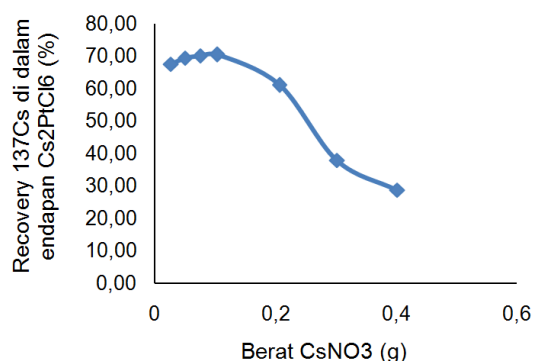
Gambar 2. Spektrum isotop ^{137}Cs di dalam endapan Cs_2PtCl_6

Hasil evaluasi spektrum isotop ^{137}Cs di dalam endapan Cs_2PtCl_6 dengan penambahan variasi berat serbuk CsNO_3 0,0263; 0,0501; 0,0754; 0,1036 ; 0,2064; 0,3020 dan 0,4017 gram diperoleh *recovery* pemisahan ^{137}Cs seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ sebelum pemisahan.

Berat CsNO_3 (g)	Kandungan ^{137}Cs		<i>Recovery</i> (%)
	Sampel awal (g/g PEB)	Endapan Cs_2PtCl_6 (g/g PEB)	
0,0263	0,000466	0,000315	67,5728
0,0501	0,000466	0,000324	69,5138
0,0754	0,000480	0,000337	70,1658
0,1036	0,000465	0,000328	70,4753
0,2064	0,000466	0,000315	67,5728
0,3020	0,000494	0,000187	37,9505
0,4017	0,000495	0,000142	28,7823

Tabel 2 menunjukkan bahwa pemisahan ^{137}Cs menggunakan metode pengendapan dengan penambahan serbuk CsNO_3 seberat 0,1036 g diperoleh kandungan ^{137}Cs dalam endapan Cs_2PtCl_6 sebesar 0,000328 g/g PEB dari 0,000465 g/g PEB atau dengan *recovery* pemisahan sebesar 70,4753% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



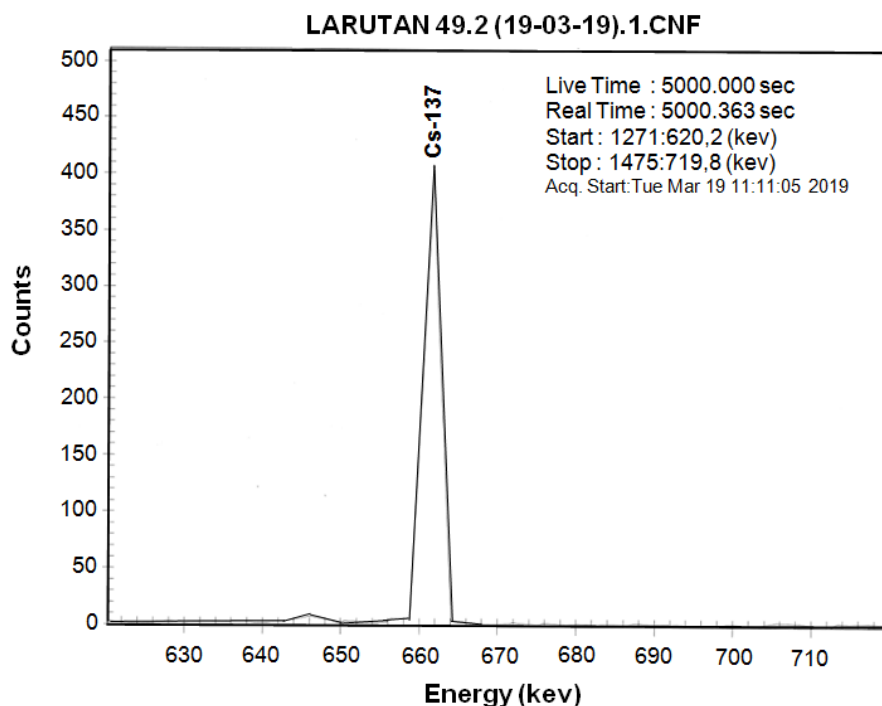
Gambar 3. Hubungan berat CsNO_3 (g) terhadap *recovery* (%) isotop ^{137}Cs dalam endapan Cs_2PtCl_6 .

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara berat CsNO_3 (g) yang ditambahkan dengan *recovery* pemisahan isotop ^{137}Cs

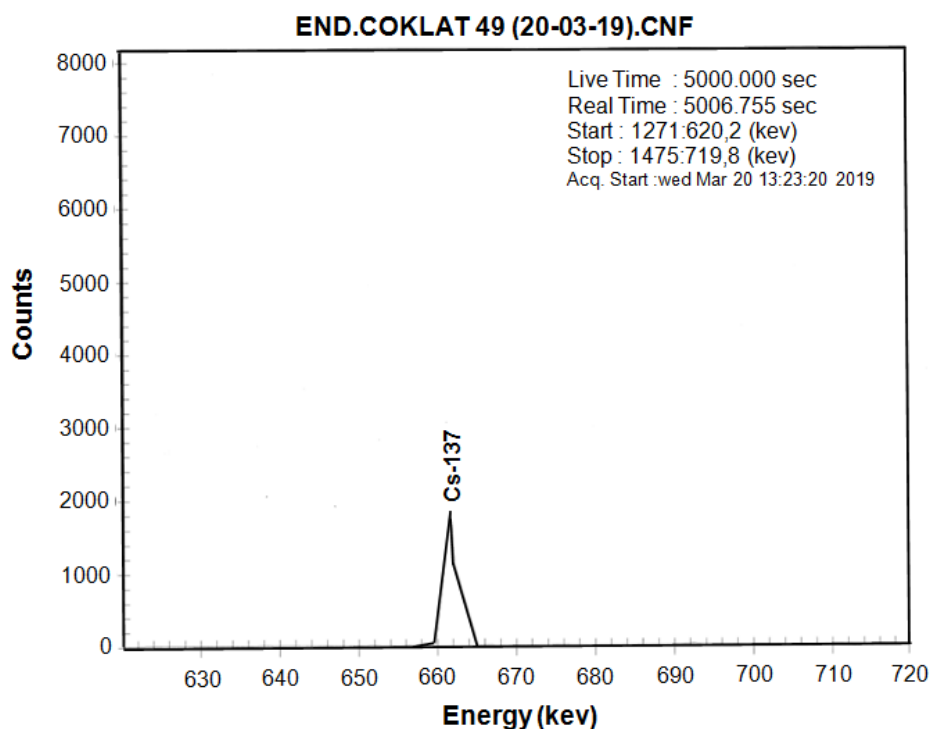
yang terkandung di dalam endapan Cs_2PtCl_6 .

Dari Gambar 3 diketahui bahwa penambahan serbuk CsNO_3 seberat 0,1036 g belum efektif untuk mengendapkan seluruh kandungan ^{137}Cs di dalam 150 μL larutan sampel $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi. Diperolehnya *recovery* pemisahan ^{137}Cs sebesar 70,4753% disebabkan karena masih banyak isotop ^{137}Cs yang terkandung di dalam supernatan dan endapan cokelat ($\text{FeOH})_3$ yang sebenarnya tidak dikehendaki. Upaya yang dilakukan untuk mengetahui kandungan isotop ^{137}Cs masih tersisa di dalam supernatan dan endapan cokelat dilakukan pengukuran isotop ^{137}Cs menggunakan spektrometer gamma dengan waktu cacah selama 5000 detik. Hasil pengukuran kandungan isotop ^{137}Cs di dalam supernatan dan endapan cokelat ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5.

Rendahnya *recovery* pemisahan ^{137}Cs disebabkan karena serbuk CsNO_3 dengan berat 0,1036 g secara stokiometri belum terlarut sempurna dengan ^{137}Cs membentuk endapan Cs_2PtCl_6 mengikuti persamaan reaksi (3). Walaupun sebenarnya besarnya *recovery* yang diperoleh telah sesuai dengan *recovery* yang dihasilkan oleh peneliti Hiroshi Okashita dan Haruo Natsuke yaitu diantara 60-90%[12]. Oleh karena itu, pemisahan ^{137}Cs dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi menggunakan metode ini masih perlu dipelajari lebih lanjut dengan menambah parameter pemisahan ^{137}Cs lainnya. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam proses pemisahan ini terutama adalah faktor preparasi sampel selama proses pengendapan yang belum sempurna artinya masih perlu adanya evaluasi terhadap langkah pemisahan sehingga bisa diminimalisir kesalahannya terutama menempelnya isotop ^{137}Cs di dalam peralatan gelas selama pemisahan serta panjangnya alur proses pemisahan.



Gambar 4. Spektrum isotop ^{137}Cs di dalam supernatan setelah pemisahan







Gambar 5. Spektrum isotop ^{137}Cs di dalam endapan coklat setelah pemisahan

Dari beberapa metode yang digunakan untuk pemisahan ^{137}Cs dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $2,96 \text{ gU/cm}^3$ metode chloroplatinate mempunyai kelebihan maupun kekurangan bila

dibandingkan dengan metode pertukaran kation menggunakan zeolit Lampung maupun resin Dowex serta metode pengendapan CsClO_4 seperti yang dituangkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan hasil pemisahan isotop ¹³⁷Cs dengan berbagai metode [9,10,11,12, 13,14,15]

Metode pemisahan	Recovery (%)	Hasil yang diperoleh	Bentuk ¹³⁷ Cs yang dihasilkan
Pertukaran kation menggunakan zeolite Lampung	99,03	Isotop ¹³⁷ Cs terikat dalam zeolit dalam bentuk (padatan ¹³⁷ Cs-zeolit)	
Resin Dowex 50Wx8	98,67	Isotop ¹³⁷ Cs terikat dalam larutan suasana klorida (larutan)	
Pengendapan Perchlorate	98,01	Isotop ¹³⁷ Cs terikat dalam bentuk endapan CsClO ₄ (endapan ¹³⁷ CsClO ₄)	
Pengendapan Chloroplatinate	70,47	Isotop ¹³⁷ Cs terikat dalam bentuk endapan Cs ₂ PtCl ₆ (endapan ¹³⁷ Cs ₂ PtCl ₆)	

Pada Tabel 4 diketahui bahwa *recovery* metode pemisahan isotop ¹³⁷Cs menggunakan metode pengendapan chloroplatinate lebih kecil (70,47%) dibandingkan dengan metode yang lain. Walaupun berdasarkan referensi [12] hasil ini sudah memenuhi yaitu dikisaran antara 60% - 90%. Ada beberapa hal yang mempengaruhi hasil tersebut antara lain dikarenakan proses pemisahan yang digunakan terlalu panjang sehingga menimbulkan banyak kesalahan dalam proses preparasi. Kelebihan dari metode pemisahan isotop ¹³⁷Cs menggunakan metode pengendapan chloroplatinate dibandingkan dengan pengendapan perchlorate adalah bahwa hasil yang

diperoleh dalam bentuk endapan lebih stabil artinya tidak terpengaruh oleh temperatur ruang bila dibandingkan dengan metode CsClO₄ yang dapat berubah bentuk menjadi higroskopis karena pengaruh temperatur. Kelebihan metode pengendapan chloroplatinate dibandingkan dengan metode pemisahan zeolit adalah hasil yang diperoleh lebih murni dikarenakan sifat Cs yang akan bereaksi secara selektif dengan larutan asam chloroplatinate membentuk endapan Cs₂PtCl₆. Sementara itu, bila dibandingkan dengan metode pemisahan menggunakan resin Dowex 50Wx8 hasil yang diperoleh sama-sama murni bahan yang mengandung isotop ¹³⁷Cs, tetapi hanya berbeda fase yaitu fase cairan untuk metode

pemisahan menggunakan resin dowex 50Wx8 dan endapan untuk metode pengendapan chloroplatinate. Penelitian tentang pemisahan isotop ^{137}Cs menggunakan metode pengendapan chloroplatinate masih perlu dilakukan lagi mengingat metode ini mempunyai potensi pemisahan yang relatif bagus karena menghasilkan isotop ^{137}Cs murni yang terkandung di dalam endapan Cs_2PtCl_6 dan kestabilan penyimpanan endapan Cs_2PtCl_6 yang tidak tergantung dengan temperatur sekitar sehingga bisa dijadikan kandidat untuk menjadi bahan standar isotop ^{137}Cs sekunder *Certified Reference Materials* (CRM).

SIMPULAN

Pemisahan ^{137}Cs dalam larutan uranil nitrat hasil pelarutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi menggunakan metode pengendapan chloroplatinate sebagai Cs_2PtCl_6 telah dilakukan. Hasil pemisahan ^{137}Cs menunjukkan bahwa penambahan CsNO_3 dengan berat 0,1036 g dapat menghasilkan isotop ^{137}Cs sebesar 0,000328 g/gPEB dari 0,000465 g/gPEB dalam larutan $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi atau dengan *recovery* pemisahan sebesar 70,4753%. Besarnya *recovery* pemisahan dengan metode ini lebih kecil bila dibandingkan metode pemisahan ^{137}Cs lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Ir.Sungkono,MT dan seluruh teman-teman Bidang Uji Radiometalurgi (BUR) atas kerjasamanya dalam melakukan penelitian, diskusi serta Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir BATAN melalui fasilitas dan dana DIPA 2018 sehingga penelitian ini bisa dilaksanakan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Y. Nampira, S. Ismarwanti, "Uji Tidak Merusak Bahan Bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ tingkat muat uranium 4,8 gU/cm³ pasca iradiasi

fraksi bakar 20% dan 40%", *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir*, vol. 10, no.2, hal. 53-64, 2014.

- [2] A. B. Ginting, Boybul, A. Nugroho, D. Anggraini, R. Kriswarini, "Pemisahan dan analisis ^{137}Cs dan ^{235}U dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi untuk penentuan *burn up*", *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir* vol. 11, no.2, 2015.
- [3] R. I. Dobrin, T. Craciunescu and M. Pavelescu, "CANDU and TRIGA fuel burn up determination using axial and tomographic *gamma scanning*," *Institute for Nuclear Research Pitesti, Campului Str 1*, 4 November 2010 Mioveni, Rumania. .
- [4] J. S. Kim, Y. S. Jeon, S. D. Park, Y. K. Ha and K. Song, "Analysis of high burnup pressurized water reactor fuel using uranium, plutonium, neodymium, and cesium isotope correlations with burnup," *Journal Nuclear Engineering Technology*, vol. 47, pp. 924-933, 2015.
- [5] A. Nugroho, Yanlinastuti, S. Indayati, I. Haryati, "Pemisahan dan Analisis Isotop Cesium dan Uranium Di Dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ Pasca Iradiasi," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2016*, Batam 4-5 Agustus 2016.
- [6] Diktat Prinsip-Prinsip Dasar Keselamatan Nuklir, Pelatihan Operator dan Supervisor Laboratorium Radiometalurgi, Serpong 21 Maret-01 April 2017.
- [7] A. B. Ginting, dkk, "Buku penguasaan teknologi pembuatan bahan bakar reaktor suhu tinggi dan reaktor riset," BATAN Press, Anggota IKAPI, Oktober 2018.
- [8] S. Indaryati, Yanlinastuti, "Pemungutan uranium dari gagal pelat elemen bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ dengan cara pelarutan", *Prosiding Seminar Pengelolaan Perangkat Nuklir*, PTBN-BATAN, Tangerang, 11 September 2007.
- [9] D. Anggraini, R. Kriswarini, "Penentuan isotop Cs dari unsur Cs dalam larutan

- aktif CsNO₃,” *Jurnal Teknologi Bahan Bakar Nuklir*, vol.15, no.1, 2009.
- [10] A. B. Ginting, Boybul, A. Nugroho, D. Anggarini, R. Kriswarini, ”Pemisahan dan analisis ¹³⁷Cs dan ²³⁵U dalam PEB U₃Si₂-Al pasca iradiasi untuk penentuan burn up”, *Jurnal Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 11, no.2, 2015.
- [11] A. Nugroho, D. Anggraini, Boybul, S. Indaryati, I. Haryati, R. Kriswarini, A. B. Ginting, “Pemisahan cesium dalam PEB U₃Si₂/Al pasca iradiasi dengan metode kolom penukar kation menggunakan resin Dowex,” *Jurnal Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 24, no. 2, hal 125-134, 2018.
- [12] H. Okashita, Haruo Natsuke, “A comparison of radiochemical methods for Cesium-137 determination,” *Journal of Nuclear Science and Technology*, vol. 9, no. 4, pp.241-248, 1972.
- [13] D Anggraini, Noviarty, Yanlinastuti, A. B. Ginting, R. Kriswarini, A. Nugroho, Boybul, “Pemisahan dan analisis ¹³⁷Cs dari larutan pelat elemen bakar nuklir U-7%MoAl,” *Jurnal Ilmiah daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 22, no.3, hal. 143-153, 2016.
- [14] A. B. Ginting, D. Anggraini, “Metode pengendapan dan penukar kation untuk pemisahan Cesium dalam bahan bakar U₃Si₂-Al”, *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol 22, no.2, hal. 99-110, 2016.
- [15] Boybul, Yanlinastuti, D. Anggraini, A. Nugroho, R. Kriswarini, A. B. Ginting, “Analisis kandungan cesium dan uranium dalam bahan bakar U₃Si₂/Al pasca iradiasi”, *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 23, no. 3, hal.107-116, 2017.

